

Удосконалення методу оцінювання ступеня захисту мовної інформації

В. С. Блінцов, С. М. Нужний

Оцінка рівня захищеності мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами виконується згідно міжнародних та національних стандартів, а також у відповідності з нормативними документами. Для оцінки рівня її захищеності, в багатьох країнах, нормативними документами передбачено використання коефіцієнту сигнал/завада. Однак метод має ряд значних недоліків, що не дозволяють визначити реальний стан рівня захищеності.

Запропоновано вдосконалений об'єктизований метод оцінювання, який ґрунтується на визначенні коефіцієнту залишкової розбірливості для тест-сигналу, після його відновлення методами математичного аналізу (адаптивної фільтрації, кореляційного та спектрального аналізів, вейвлет-перетворення та інші). Коефіцієнт залишкової розбірливості визначається для кожного слова, що входить до короткої фрази, тест-сигналу.

Проведено аналіз частоти вживання фонем в українській мові. Показано, що враховуючи визначення терміну «алофон» та кількість носіїв мови, можна вважати, що загальна кількість алофонів прагне до нескінченості. Для зменшення розрахункової складності використано формалізований підхід на основі спрощеної лінгвістичної моделі – фонема (буква), дифон (дві букви) та трифон (три букви). В якості джерела інформації, в такому випадку, можна використовувати текстові документи.

Запропоновано аналітичні залежності для розрахунку коефіцієнта залишкової розбірливості мови та його складових – коефіцієнтів частоти вживання алофонів в словах української мови та важливості розпізнавання алофону для розпізнавання слова.

Показано взаємопов'язаність коефіцієнту (класу) захищеності мови SPC та словесної розбірливості W. На їх базі запропоновано шкалу об'єктизованого оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови.

Ключові слова: цифрова фонограма, коефіцієнт розбірливості мови, деструктивні зміни фонемної структури, вейвлет-перетворення

1. Вступ

Визначення рівня захищеності мовної інформації є однією з головних задач систем технічного захисту інформації та служби безпеки підприємства/організації (далі об'єкту). Впевненість в її захищеності надає можливість вільного спілкування при обговоренні питань, що є критичними для економічної, технологічної та інноваційної політик об'єкту, містять державну та комерційну таємниці.

Не зважаючи на всю різноманітність об'єктів захисту (їх призначення, особливості функціонування, чисельність персоналу та інше), захист мовної інформації забезпечується пасивними і активними системами. Однак для набуття впевненості в якості захисту, необхідно проведення спеціалізованих досліджень, які б встановили відповідність фактичного рівня захисту поставленим вимогам.

На даний час існує значна кількість методів оцінювання рівня захищеності мовного сигналу – *Speech Intelligibility Index*, *Speech transmission index*, *Articulation Index*, *Speech Privacy Class*, *Signal-to-noise ratio* та інші. Однак, як показує аналіз, ці методи мають один загальний недолік – не враховують можливості зловмисника по обробці перехопленого сигналу з метою його очищення від сторонніх шумів.

Використання сучасних методів цифрової обробки фонограм (спектрально-кореляційний аналіз, вейвлет-перетворення, адаптивна фільтрація та інші) дозволяють відновити лінгвістичну складову мовного повідомлення (тест-сигналу) навіть при значних рівнях шумової завади ($SNR \leq -10$ дБА). Це призводить до некоректності оцінки захищеності мовної інформації, отриманої за вказаними методами, і відповідно, до недооцінки можливості перехоплення та розпізнавання зловмисником конфіденційної мовної інформації.

Таким чином, виникла нагальна потреба в розробці вдосконаленого методу оцінки захищеності мовної інформації на об'єктах інформаційної діяльності. Метод повинен буди незалежним від структури та принципів роботи систем технічного захисту мовної інформації з обмеженим доступом, та спроможним врахувати сучасні методи цифрової обробки фонограм.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Всі системи оцінювання рівня захищеності мовної інформації, на даний час, можна розділити на наступні групи:

- контроль енергетичних параметрів мовного сигналу;
- контроль частотного спектру;
- контроль розбірливості мовного сигналу.

Контроль енергетичних параметрів мовного сигналу на межі контрольованої зони в Україні виконується у відповідності до [1, 2]. Критерієм оцінювання є відношення сигнал/завада (*Signal-to-noise ratio* – *SNR*), який вимірюються в діапазоні частот від 100 Гц до 10 кГц по $\frac{1}{3}$ -октавним смугам. Розрахунок та порівняння отримані значення проводять в відповідності до [3].

Аналогічний метод оцінки захищеності мовної інформації для закритих приміщень використовується в Канаді. Вимірювання проводяться в відповідності до *ASTM E2638* [4]. Критеріями оцінки є величини «клас захищеності мови» (*Speech Privacy Class* – *SPC*) та відношення сигнал/завада в мовному діапазоні частот (*uniform-weighted signal-to-noise ratio* – *SNRuni32*).

Методи оцінювання рівня захищеності мовного сигналу на основі дослідження частотного спектру можна розділити на декілька підгруп, які дозволяють визначати:

- *SII* (*Speech Intelligibility Index* – коефіцієнт (індекс) розбірливості мови» (KPM)) [5–8];
- *STI* (*Speech transmission index* – індекс передачі мови (ІПМ)) [9–11];
- *RASTI* (*Room Acoustics STI* – ІПМ для приміщень) [10, 11];
- *STIPA* (*STI for Public Address systems* – ІПМ для систем звукопідсилення) [10, 11];
- *STITEL* (*STI for Telecommunication Systems* – ІПМ для телекомунікаційних систем) [10, 11];
- *%ALcons* (*Percentage Articulation Loss of Consonants* – оцінка втрат артикуляції приголосних).

Розбірливість мовного сигналу оцінюють за критеріями:

- *W* (словесна розбірливість мови (CPM)) [12];
- *AI* (*Articulation Index* – індекс артикуляції (AI)) [6, 12, 15].

Аналіз показує, що не всі наведені методи можуть бути застосовані до оцінки рівня загроз перехоплення мовної інформації зловмисником. Так, методи оцінювання рівня захищеності мовного сигналу на основі дослідження частотного спектру та визначення коефіцієнтів *STI*, *RASTI*, *STIPA*, *STITEL* та *%ALcons* надають можливість встановити рівень цілісності інформації. При цьому цей рівень буде майже однаковим для легальних слухачів і для зловмисника (нелегальний слухач). Різниця буде зумовлена незалежними від слухачів параметрів приміщення, його звукоізоляцією, параметрами апаратури зловмисника та інші.

Інші методи, незважаючи на значні відмінності в принципах оцінювання рівня захищеності мовного сигналу та технологіях проведення досліджень, мають багато спільних рис. Головною є оцінювання впливу шумової завади на мовний сигнал на межі контрольованої зони.

Однак для всіх вказаних вище методів є одна загальна вада – не враховується можливість зловмисника проводити спеціалізовану обробку перехопленого сигналу з метою очищення його від сторонніх завад. До таких методів очищення можна віднести, в першу чергу, вейвлет-перетворення, фонемно-кореляційний аналіз, адаптивну та нейромережеву фільтрації. Це призводить, як показано в [14], до значного збільшення рівня розпізнавання мовного сигналу, а відповідно й критичного підвищення значень таких коефіцієнтів як *SII* (KPM), *W* (CPM), *AI* (AI), *SPC*, *SNR* та *SNRuni32*.

Використання енергетичних параметрів має ряд важливих технологічних переваг – простота проведення досліджень, поширеність лабораторного обладнання та очевидність отриманих результатів. Одночасно з цим, цей метод має суттєвий недолік – оцінювання рівня захищеності мовної інформації за коефіцієнтом *SNR* означає, що знаходиться відношення середньоквадратичних рівнів інтенсивності сигналу та завади. По відношенню до сигналу завади, в якості якого зазвичай використовується білий шум (або його «клони», наприклад «рожевий», «блакитний» та аналогічні шуми), такий підхід є виправданим. По відношенню до мовного сигналу такий підхід, навіть з розділом частотного спектру по $\frac{1}{3}$ -октавним смугам, є недопустимим.

При заміні мовного сигналу, який має випадкову форму, його середньоквадратичними рівнями, навіть при використанні розділу частотного спектру по

$\frac{1}{3}$ -октавним смугам, виникає значна розбіжність між піковими значеннями та середньоквадратичним рівнем [13, 14].

В [4] цей недолік намагаються виправити за рахунок введення коефіцієнтів SPC та SNR_{uni32} .

SPC визначається з виразу:

$$SPC = LD(avg) + L_B(avg), \quad (1)$$

де $LD(avg)$ – середнє значення інтенсивності звуку, виміряне в декількох точках в закритому приміщенні (виділеному приміщенні, далі ВП), перераховане в середнє значення для точок контролю (ТК) зовнішнього простору (за межею контрольованої зони); $L_B(avg)$ – рівень природньої завади в ТК.

Згідно з [4] ТК вибираються з умови максимального сприяння зловмиснику, тобто в місцях найгіршого рівню звукоізоляції без врахування можливості встановлення в них зловмисником приладів перехоплення мовної інформації. Відстань від зовнішнього боку огорожувальної конструкції ВП (наприклад, стіни, вікна, дверей та інше) до ТК за [4] становить 0,25 м. Це дозволяє збільшити рівень мовного сигналу в ТК на 11–12 дБ в порівнянні з вимірами на відстані 1 м.

Коефіцієнт SNR_{uni32} , згідно з [4] визначається як різниці рівнів в ТК мовного сигналу $L_{TS}(f)$ та рівнів шуму $L_B(f)$. Ці різниці обрізаються таким чином, щоб їх значення не могли бути менше – 32 дБ, в цьому випадку мову не буде чути

$$SNR_{UNI32} = \frac{1}{16} \sum_{f=160}^{5000} \{L_{TS}(f) - L_B(f)\}_{-32}. \quad (2)$$

Знехтувавши значеннями, для яких різниця менше – 32 дБ, $L_{TS}(f)$ можна знайти як

$$L_{TS}(f) \approx L_{SP}(f) - LD(avg), \quad (3)$$

де $L_{SP}(f)$ – інтенсивності звуку, виміряна в декількох точках в закритому приміщенні (контрольованій зоні).

Тоді (2) набуде вигляду

$$SNR_{UNI32} \approx \frac{1}{16} \sum_{f=160}^{5000} \{L_{SP}(f) - LD(avg) - L_B(f)\}_{-32}. \quad (4)$$

При переході до середніх значень по $\frac{1}{3}$ -октавним смугам, отримаємо

$$SNR_{UNI32} \approx L_{SP}(avg) - LD(avg) - L_B(avg). \quad (5)$$

Врахувавши (1), отримуємо

$$SNR_{UNI32} \approx L_{SP}(avg) - SPC. \quad (6)$$

Звідки

$$SPC \approx L_{SP}(avg) - SNR_{UNI32}. \quad (7)$$

Наведений вираз показує взаємозв'язок між коефіцієнтами SPC та SNR_{uni32} .

В [20, 21] наведені значення порогу розбірливості в кімнатах для SNR_{uni32} в залежності від необхідного рівня захищеності мовної інформації. Розглянуто три рівні: «розбірливість в вільному просторі», «розбірливість в приміщенні» та «розпізнавання факту розмови», яким відповідають значенням – 11 дБ, – 16 дБ та – 22 дБ [21]. Показано особливості проектування систем безпеки на основі коефіцієнту та введена шкала відповідності значень коефіцієнту рівню захищеності об'єкту (його категорії) та частоти розпізнавання слів (коротких фраз) за нормативний проміжок часу. До недоліків даної роботи необхідно віднести обмеженість коефіцієнту SPC (не враховуються лінгвістичні особливості мовної інформації та вплив на її спектр шумових завад) та обмеженість запропонованої шкали тільки коефіцієнтом SPC .

В [15] SNR_{uni32} для (7) рекомендовано вибирати «– 11 дБ», а в [21] – «– 16 дБ».

Таким чином, якщо прийняти для $L_{SP}(avg)$ типові значення 64 дБ (згідно [12, 22] «тиха мова»), SPC набуває вигляду

$$SPC \approx L_{SP}(avg) + 11 \text{ дБ} = 75 \text{ дБ},$$

що відповідає, згідно [15], рівню «*Speech privacy*» («конфіденційні перемовини»), або

$$SPC \approx L_{SP}(avg) + 16 \text{ дБ} = 80 \text{ дБ},$$

що відповідає рівню «*Speech security*» («засекречені перемовини»).

В [15] розглядається аналіз особливостей використання коефіцієнтів AI та SII , в [6] надаються рекомендації щодо їх застосування. Показано, що коефіцієнт SII є вдосконаленням AI та призначений для визначення рівня розбірливості мовної інформації. Область застосування – біоакустика, охорона праці та місць перебування (офіси, житло, громадські місця та інше) людей, а також захист мовної інформації (оцінка рівня розбірливості мовної інформації на межі контрольованої зони). Метод розрахунку дозволяє дослідити та розрахувати коефіцієнт SII за умови впливу на мовний сигнал акустичних завад різних типів та інтенсивності. При цьому в [15] та [6] введені обмеження на співвідношення сиг-

нал/завада, при яких складові величини приймаються рівними нулю (для $\frac{1}{3}$ -октавних смуг або для спеціалізованих ділянок). Це призводить до можливості не коректного оцінювання наявності інформації в смузі(ділянці). З іншого боку, в випадку використання фільтрації сигналу, при значних рівнях шумової завади відбувається суттєве викривлення спектру, що призводить до можливості сприйняти внесені спотворень за інформаційний сигнал.

В [16] розглянуто використання коефіцієнту AI при різних структурах та інтенсивності шумових завад, досліджується їх вплив на можливість відновлення сигналу – спектральний склад та рівні сигналу по смугам. Однак в роботі не враховується лінгвістичне наповнення інформаційного сигналу.

Вказаний недолік був розглянутий в [17]. Проведені дослідження показали можливість підміни голосних букв приголосними. Це виникає внаслідок появи викривлень спектру при взаємодії мовного сигналу з шумовою завадою. В роботі розглянуті характеристики шумових завад та оцінено величину їх впливу на мовний сигнал. Дослідження проводились з залученням дикторів-носіїв англійської мови. Вплив шуму на адекватність сприйняття мовного сигналу для інших мов в роботі не досліджується.

Дослідження впливу перешкод від комбінованих шумів на передачу мови проведено в [18]. Дослідження виконане на основі моделі відкритого публічного простору. Звукові поля для домінуючих шумів були передбачені з використанням типової моделі міської площі, оточеної будинками. В якості фонового шуму були обрані шум дорожнього руху і два типи будівельних шумів – відповідних стаціонарним і імпульсним шумам. Тести на слухання проводилися на групі дорослих, а якість передачі мови оцінювалося за критеріями складності розпізнавання мови диктора, а також показників розбірливості. Однак при цьому не контролювались інструментальні параметри мовних сигналів та шумів – проведена тільки суб'єктивна оцінка можливості розпізнавання мови диктора.

В [19] оцінка рівня розбірливості мови проведена за показником короткочасної об'єктивної розбірливості ($STOI$). В дослідженнях мову, яка була змішана з білим шумом при низьких значеннях коефіцієнту SNR , доповнювали ідеальною двійковою маскою (IBM). $STOI$ був використаний для прогнозування розбірливості як гучної, так і частотно-зваженої мови. В дослідженнях приймали участь носії англійської (британської) мови. Показана можливість відновлення сигналів при значному впливу шумової завади, достатнього для її розпізнавання інструментальними методами. В роботі не розглянуті інші типи шумової завади та їх вплив на об'єктивні та суб'єктивні характеристики мовного сигналу.

В [24–26] зазначається, що мінімальна кількість розпізнаних формант для впевненого розпізнавання фонем повинна бути не менше двох. Це зумовлюється складним спектральним складом фонем, зумовлених особливостями їх формування в голосовому тракті людини. В [24] наведені результати формування фонем [а] шляхом афінних перетворень з короткотривалих фрагментів за умови малої інтенсивності звуку (шепіт). Дослідження показали, що тільки 70–80 % короткотривалих фрагментів здатні сформувати відповідну фонему з заданою достовірністю ідентифікації. Це зумовлене наявністю в короткотрива-

лих фрагментах значної кількості додаткових нестационарних ділянок, які не несуть інформацію про відповідний фонем.

В [25] наведено дослідження явища розщеплення формант – коли на місці однієї простої (скалярної) форманти постає група підформант. Таке явище характерне для свистячих і шиплячих приголосних [с], [з], [ш], [ж], [с'], [з'], [ш'], [ж'] і призводить до появи додаткових резонансних частот.

Ще більш складний спектральний склад мають носові звуки [м], [н], [м'], [н']. Ці звуки мають не дві, а три характерні частоти – першу головну носову форманту $Fp1(n)$, першу головну ротову форманту $Fp1(p)$ та другу постійну форманту $Fp2$. Це призвело до появи додаткових спектральних складових. Наприклад, згідно з [25] для звуку [н], крім вказаних $Fp1(n)$, $Fp1(p)$ та $Fp2$, додатковий спектральний склад визначається з залежності: $Fp2 + n \cdot Fp1(n)$, де $n = \{1, 2, 3, 4\}$. Для звуку [л], в українській мові, характерним є наявність додаткових комбінаційних формант, які виникають на частотах, близьких до $Fp2 - Fp1$, $Fp2 + n \cdot Fp1$, де $n = \{1, 2, 3, 4, 5\}$.

Також необхідно враховувати, характерне для більшості фонем, спадання на 3 дБ на октаву інтенсивності сигналу, що призводить до збільшення впливу шумової завади [12, 22].

Таким чином, аналіз [1–21] показує відсутність науково обґрунтованого методу оцінювання рівня захищеності мовної інформації, спроможного врахувати можливість застосування зловмисником сучасних методів відновлення мовної інформації. Метод повинен враховувати об'єктивні (інструментальні) і суб'єктивні (лінгвістичні) характеристики мовного сигналу та оцінити рівень захищеності в залежності від категорії інформації, вимог до виділеного приміщення та часових параметрів спостереження.

3. Мета та задачі дослідження

Мета даного дослідження полягає в удосконаленні методу оцінювання рівня захищеності мовного інформації за умови можливості використання зловмисником сучасних методів та технологій фільтрації шумової завади.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- виконати аналіз методів оцінювання рівня захищеності мовного інформації, які використовуються в Україні, ЄС, США та Канаді, та провести їх порівняльний аналіз;
- обґрунтувати необхідність удосконалення методики визначення рівня захищеності мовної інформації на основі коефіцієнту (індексу) розбірливості мови шляхом врахування особливостей алофонів та введення коефіцієнту залишкової розбірливості мови;
- дослідити можливість використання дифонів та трифонів, як спрощеної лінгвістичної моделі алофонів, та провести аналіз частоти їх вживання в українській мові;
- провести аналіз впливу якості розпізнавання частоти основного тону та формант на достовірність оцінювання рівня захищеності мовної інформації;

– запропонувати шкалу об’єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови.

4. Аналіз методів оцінювання рівня захищеності мовних сигналів

Порівняння коефіцієнтів *SPC* (за [4, 21]) та *SNR* (за [12, 22]), в тлумаченні, яке прийняте на пострадянській території, і коефіцієнту словесної розбірливості мови *W* [22] наведено в табл. 1.

Таким чином, коефіцієнт словесної розбірливості мови *W* дозволяє пов’язати методи оцінювання захищеності мовної інформації, які основані на принципах вимірювання інтенсивності звуку, такі як [4, 22].

Необхідно відмітити, що *SPC* встановлює вимоги до ВП на етапі проектування систем безпеки – систем звукоізоляції. Значення коефіцієнту суттєво залежить від максимального рівня вірогідного середнього значення інтенсивності мовного сигналу в ВП. При проведенні перевірки приміщень та визначення реального рівня захисту інформації *SPC* визначається на основі коефіцієнту *SNRuni32*, в відповідності до (7).

Більшу інформативність щодо ефективності систем захисту, надають коефіцієнти *AI* та *SII*. Варто зазначити, що *SII*, згідно [6], є формальною заміною назви коефіцієнта артикуляції *AI*, яка відбулась в 1997 році. Однак у 2010 році в Канаді вводиться в дію [4], в якому відновлено використання коефіцієнту *AI*.

Таблиця 1

Взаємопов’язаність коефіцієнтів *SPC* і *W* та *SNR*

Рівень	<i>SPC</i>			Словесна розбірливість мови		<i>SNR</i>
	Опис рівня захисту мови	Числове значення, дБ	Частота розпізнавання	Опис рівня захисту мови	<i>W</i> , %	Числове значення, дБ
Standard speech privacy	Зрідка зрозуміла і часто чутна	≤ 70	1 коротка фраза за 2 хв.	Часткове приховування змісту переговорів у ВП	40	–6
Standard speech security	Інколи зрозуміла і зрідка чутна	70–80	1 коротка фраза за 15 хв. – 1 год	Значне приховування змісту переговорів у ВП	30	–8
High speech security	За суттю не зрозуміла і іноді чутна	80–85	1 коротка фраза за 2 – 4,5 год	Приховування предмета переговорів у ВП	20	–10
Very high speech security	Нерозбірлива й по суті не чутна	>85	1 коротка фраза за 16 – 20 год	Приховування факту ведення переговорів в ВП	10	–13

При значних рівнях шумової завади ($SNR=-10\dots-22$ дБ) в спектральних $\frac{1}{3}$ -октавних смугах починається перевищення сигналом завади рівнів формантів другої та третьої груп для більшості фонем. Рівні формант четвертої та подальших груп зазвичай є малорозбірливими вже при співвідношеннях $SNR\approx-0$ дБ. Так, наприклад, при проведенні судових фоноскопичних експертиз [23, 24] обов'язковою умовою, для визначення автентичності диктора, є забезпечення мінімальності впливу шумової завади на мову диктора. Таке можливе тільки при $SNR\geq 0$ дБ (3...5 дБ).

Головною перевагою SII в порівнянні з SPC та SNR є врахування інформативності спектральних $\frac{1}{3}$ -октавних смуг. Тобто, при розрахунках важливим є не співвідношення сигнал/завада, а наявність в конкретній смузі частот форманти фонем. Згідно з [6], SII визначається як:

$$S = \sum_{i=1}^n I_i A_i, \quad (8)$$

де n – кількість смуг по яких розраховується коефіцієнт розбірливості мови (зазвичай $n=6$ або 7 – при використанні октавних смуг, чи $n=18$ або 21 – при використанні $\frac{1}{3}$ -октавних смуг); I – коефіцієнт вагомості інформації в смузі; A – коефіцієнт якості розпізнавання інформації в смузі.

Коефіцієнт вагомості інформації в смузі I визначається для кожної мови і залежить від вірогідності появи формат звуків в певній октавній чи $\frac{1}{3}$ -октавній смузі та наявності додаткових спектральних складових [24, 25].

Коефіцієнт якості розпізнавання інформації в смузі A відображає вірогідність коректного розпізнавання форманти чи її додаткових спектральних складових в досліджуваній октавній чи $\frac{1}{3}$ -октавній смузі і знаходиться за [6] як:

$$A(\Delta L)_i = \begin{cases} 0, & \Delta L_i \leq 0 \text{ дБ.} \\ \frac{\Delta L_i}{30}, & 0 < \Delta L_i \leq 30 \text{ дБ,} \\ 1, & \Delta L_i > 30 \text{ дБ.} \end{cases} \quad (9)$$

де ΔL – різниця між піковим рівнем мовного сигналу і ефективним рівнем шуму. Тобто, $\Delta L = L'_s - L_n(\text{avg}) \approx \{L_s(\text{avg}) + 15 \text{ дБ}\} - L_n(\text{avg}) = SNR + 15 \text{ дБ}$. Складник «15 дБ», згідно [6], забезпечує перехід від пікового рівня сигналу в смузі до його середньоквадратичного (ефективного) рівня і далі до типового для України коефіцієнту SNR .

Коефіцієнти I та A можна визначити й іншим способом – в багатьох мовах коефіцієнти є нормованими. Так, в [12, 22] дані коефіцієнти вказані для російської мови – ваговий коефіцієнт смуги k_i та формантний параметр мови в смузі ΔA_i .

Аналіз коефіцієнту якості розпізнавання інформації в смузі показує, що згідно (9), SII визначається в динамічному діапазоні 30 дБ, зсунутому на 15 дБ вправо. Це також вказує, що коефіцієнт SII доцільно використовувати для оцінки рівня захищеності мовної інформації при $SNR \geq -15$ дБ. Тобто, в відповідності до табл. 1 рівня «Very high speech security».

Однак коефіцієнт має й значну ваду. Згідно з (9) SII недоцільно використовувати в автоматизованих системах для оцінювання рівня захищеності мовної інформації при значних рівнях зашумлення ($SNR < -15$ дБ). В [12, 22] показано, що при коефіцієнті $W=20$ % для 5 та 6 октавних смуг (середньогометричні частоти смуг 2000 Гц та 4000 Гц), коефіцієнт SNR становить – 18,2 дБ та – 24,7 дБ. Заміри виконувались при використанні в якості завади білого шуму. Ваговий коефіцієнт полоси k_i для вказаних смуг встановлено 0,30 та 0,26, відповідно. При цьому, ці значення, згідно [12, 22] є найбільшими, тобто в них сконцентровано більше половини всіх формант.

5. Удосконалення методу визначення рівня захищеності мовної інформації шляхом введення коефіцієнту залишкової розбірливості мови

Визначення рівня захищеності мовної інформації в системах, що застосовують засоби постановки активних завад, повинно включати підготовчий етап. Основними вимогами для нього є:

- в якості тест-сигналів використовуються фонограми спеціалізованих артикуляційних таблиць, сформованих на основі коротких фраз загального користування та за професійним спрямуванням досліджуваного об'єкту захисту (включаючи термінологію, сленг, назви, аббревіатури та інше);

- досліджувана фонограма отримується за типовою технологією визначення рівня захищеності мовної інформації на основі коефіцієнту SNR (або будь-якого з коефіцієнтів SPC , AI , SII , SNR_{uni32});

- очищення досліджуваної фонограми виконується сучасними методами та технологіями фільтрації шумової завади.

Оцінювання рівня захищеності мовної інформації на основі очищеної фонограми можна виконати наступними методами:

1. Лінгвістична експертиза усного мовлення.
2. Визначення коефіцієнту SII на основі кореляційного аналізу оригіналу тест-сигналу та «очищеного» сигналу.
3. Визначення коефіцієнту залишкової розбірливості мови.

Перший метод передбачає залучення спеціально підготовленого аудитора (слухача). Його перевагою є визначення рівня захищеності мовної інформації на основі прямого методу – аудіювання. Недоліками методу є суб'єктивізм та значна трудомісткість.

Другий метод заснований на підготовці спеціалізованої бази даних до кожної артикуляційної таблиці. В базі вказуються коефіцієнти вагомості інформації по смугам для кожної фонемі в кожному зі слів, що входять до артикуляційної таблиці, на базі якої була записано фонограма тест-сигналу. База формується на основі аналізу тест-сигналу (фонограми) на підготовчому етапі. При підготовці бази необхідно враховувати особливості мови, професійну спрямо-

ваність співробітників об'єкту, омоніми та інше. Так, наприклад, слово «компас» в залежності від професійної спрямованості може змінити наголос – «кòм-пас» чи «компàс». Можливе вживання слів-омографів «на бѐрезі» та «на берѐзі», та інше. Це призводить до зміни частоти основних формант, їх розщеплення, появи додаткових формант [24, 25].

Недоліками даного методу є:

- значне завищення рівня захищеності мовної інформації за рахунок використання кореляційного методу та баз даних;
- наявність залишкової шумової завади на частотах верхніх октав;
- викривлення спектру формант на частотах верхніх октав.

Третій метод.

Пропонується введення нового критерію оцінювання рівня захищеності мовної інформації – коефіцієнту *RII* (*Residual intelligibility index* – коефіцієнту залишкової розбірливості мови (КЗРМ)) – S^R , який визначається з виразу:

$$S^R = \frac{1}{m} \sum_{y=1}^m \left[R_y^a H_y \sum_{i=1}^n I_i A_i \right], \quad (10)$$

де m – загальна кількість алофонів в слові; R^a – коефіцієнт важливості розпізнавання алофону для розпізнавання слова (фрази, речення); H – коефіцієнт частоти вживання даного алофону в мові, n – кількість $\frac{1}{3}$ -октавних смуг по яких розраховується коефіцієнт ($n=18$ або 21); I – коефіцієнт вагомості інформації в смузі для розпізнавання алофону; A – коефіцієнт якості розпізнавання інформації в смузі.

Якщо прийняти, що $R_y^a H_y \sum_{i=1}^n I_i A_i = K^R$, то K^R – коефіцієнт деструктивних змін алофону, який виражає вплив шумової завади на форму та частото-часовий спектр алофону. Структурно коефіцієнт враховує дві складові розпізнавання мови: лінгвістичну ($R_y^a H_y$) та формантну $\left(\sum_{i=1}^n I_i A_i \right)$.

На рис. 1 наведено приклад дослідження в середовищі Matlab (версія R2015a) впливу шумової завади (білий шум) з $SNR=-10$ дБА на слово «корабель» з виразу «корабель берегової охорони». На рис. 1, а показані фонограми оригінального (Original), зашумленого (Signal & Noises) та очищеного (Residual Intelligibility) сигналів. Їх спектральний аналіз наведено на рис. 1, б. Як видно з рис. 1, б при $SNR=-10$ дБА для зашумленого та очищеного сигналів однозначно визначається частота основного тону. Для очищеного від завади сигналу при використанні кореляційного аналізу для розбиття слова на алофони і кореляційного аналізу спектру алофонів за «спадами» також можна розпізнати форманти *Fp1*, *Fp2* та *Fp3*.

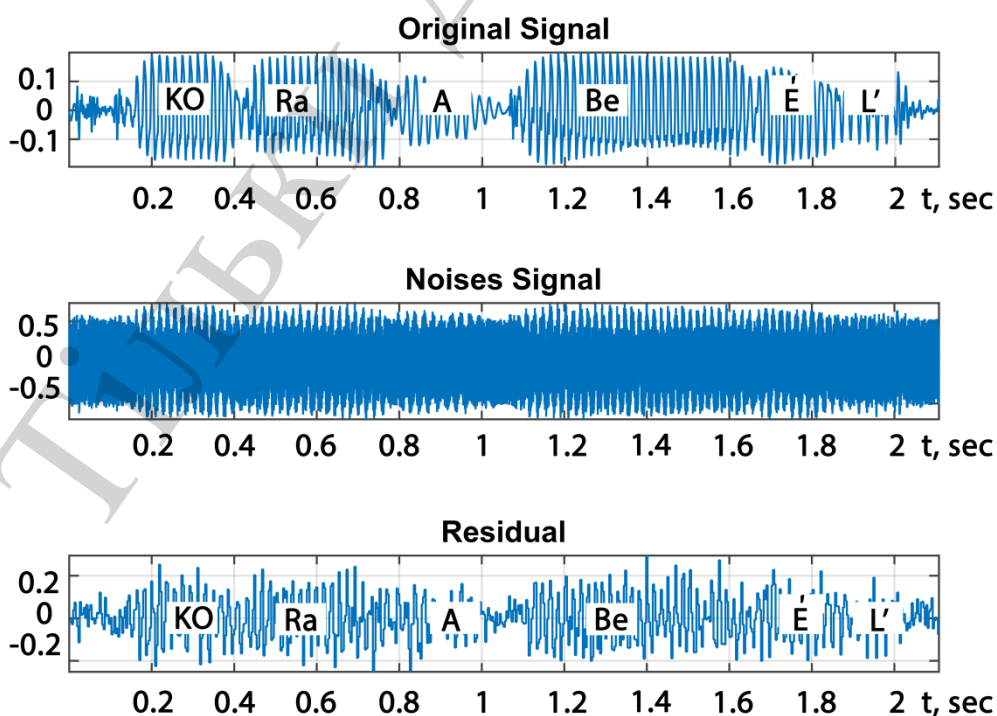
Лінгвістична складова враховує особливості формування та вживання мови в державі (регіоні), діалекти, слова-паразити, сленги та інше. Тобто, ця складова враховує фактори, що впливають на формування слів з алофонів – важли-

вість розпізнавання алофону слухачем для розуміння суті слова та частоту його вживання в мові. Важливість даних факторів полягає в тому, що:

- час звучання сформованої фонемі в рівнотемповому тексті зазвичай складає 50–60 % часу її звучання (в залежності від типу фонемі – голосна/приголосна, сонорні/шумні та інші). Тобто процес має дискретний характер за часом та готовністю фонемі до аналізу. Враховуючи, що протяжність фонемі в слові складає 0,1–0,25 с., час на формування дотичної в частото-часовому розподілі для сформованої фонемі при значному впливі шумової завади є недостатнім. Це призводить до зменшення вірогідності достовірного розпізнавання;

- процес формування слові з алофонів під час мови має неперервний характер. Це пов'язано з самою суттю поняття алофона як реалізації фонемі, її варіант, обумовлений конкретним фонетичним оточенням в слові, наголосом в слові та реченні. Таким чином, процес формування алофону фактично починається та закінчується в структурі попереднього чи заднього алофону (чи паузи між словами) – відбувається процес взаємного перекриття алофонів. Таким чином, суттєво збільшується проміжок часу для проведення аналізу формування дотичної до формант. В даному випадку використання методу накопичення дозволяє суттєво зменшити вплив шумової завади і, відповідно, підвищується вірогідність достовірного розпізнавання алофонів та слова в цілому;

- різна частота вживання алофонів в словах дозволяє суттєво підвищити рівень розпізнавання алофону в слові. Враховуючи визначення терміну «алофон» та кількість носіїв мови можна вважати, що загальна кількість алофонів прагне до нескінченості. Тому виникає необхідність формалізувати підхід на основі спрощеної лінгвістичної моделі – фонема (буква), дифон (дві букви) та трифон (три букви). В якості джерела інформації, в такому випадку, використовуються текстові документи [27–32].



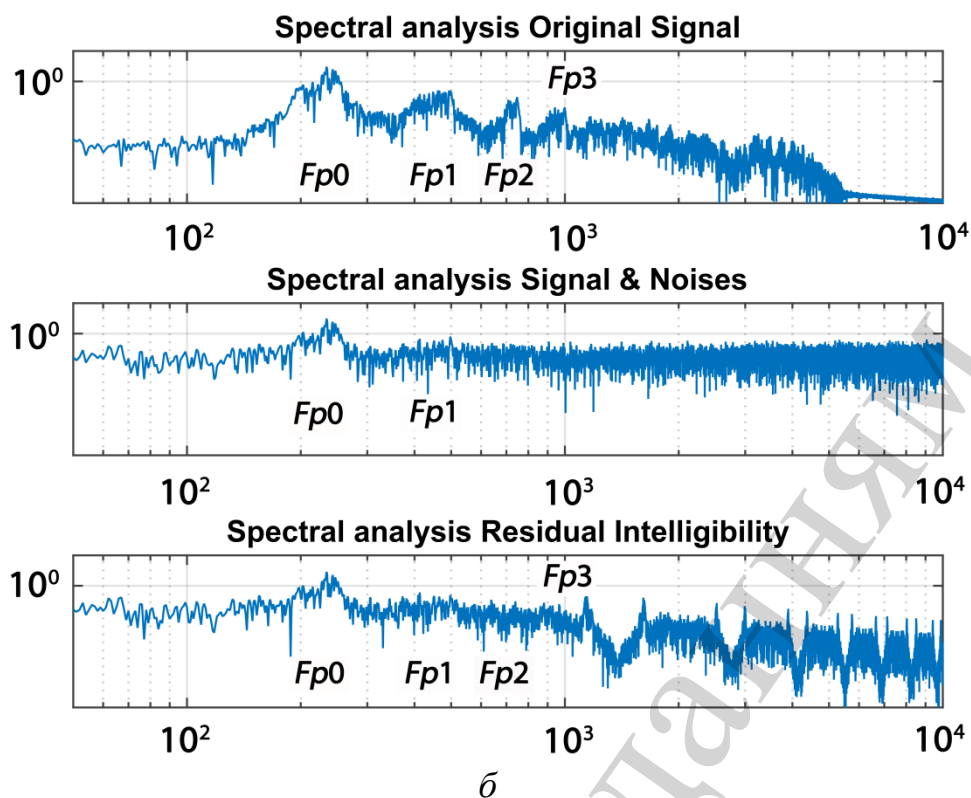


Рис. 1. Дослідження впливу шумової завади (білий шум) з $SNR=-10$ дБА на слово «корабель» в середовищі Matlab: *а* – фільтрація шумової завади; *б* – спектральний аналіз на довготривалому спектрі

Підвищення достовірності розпізнавання можливе при переході від аналізу частоти вживання фонем до частоти вживання алофонів. Для слова «корабель» частоту вживання фонем [к], [о] та [р] можна визначити за рис. 2 або [28, 29, 32] – становити 4,01; 8,23 та 4,12, відповідно.

Проведені дослідження дифонів показують, що для української мови в текстах з загальною кількістю букв 276 тис., фонема [а] зустрічається 27318 разів. В табл. 2 наведено дані про частоту вживання деяких дифонів з фонем [а].

Як видно з наведених в табл. 2 результатів дослідження, існує низька ймовірність появи в досліджуваній фонограмі великої кількості дифонів, а відповідно, й зв'язаних з ними алофонів.

Аналіз частоти вживання трифонів, які створені на основі голосної фонем [о], показує, що їх можна поділити на чотири групи:

1. Трифони, які мають найбільшу частоту вживання – більше 2 %. Такими трифонами є [кор], [мов], [нов], [ног], [ної], [ном], [нос], [пов], [пор], [пос], [роб], [ров], [тор] та [фон].

2. Трифони, які мають середню частоту вживання – в діапазоні від 0,5 % до 2 %. До них відносяться [бор], [вод], [гою], [доб], [дов], [дод], [док], [доп], [зон], [йог], [йол], [кої], [ком], [кон], [кос], [лог], [лож], [лою], [мог], [нок], [нор], [пож], [поз], [пол], [пом], [пох], [роз], [ром], [рот], [соб], [тов], [тод], [ток], [тот], [точ], [фор], [ход] та [хом].

3. Трифони, які мають низку частоту вживання – в діапазоні від 0,1 % до 0,5 %.

4. Трифони, які засновані на дифонах [ао], [го], [ео], [ио], [іо], [уо], [цо], [юо], [яо], [оґ], [ео], [ио], [іо], [ой], [оу], [оф], [оц], [ощ], [оь] та [оя] мають частоту вживання менше 0,1 %.

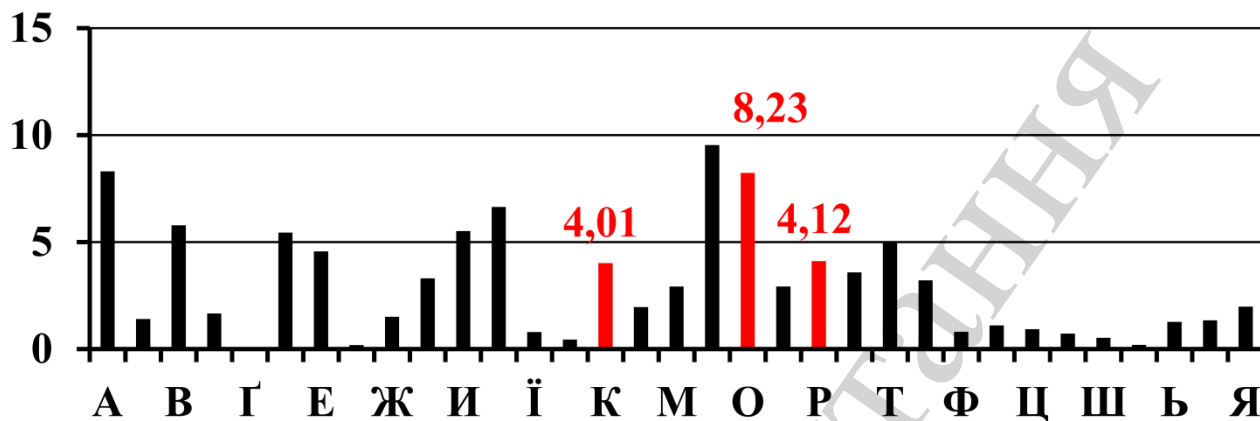


Рис. 2. Усереднені значення частоти вживання фонем в українській мові за [28, 29, 32]

Таблиця 2

Частота вживання деяких дифонів з фоном [а]

Тип дифону	[ац]	[ца]	[ас]	[са]	[ає]	[еа]	[аї]	[їа]	[аі]	[іа]	[ао]	[оа]
Частота вживання шт.	2250	0	823	247	330	0	641	0	0	494	3	7
Відносна частота вживання, %	8,23	0	3,01	0,9	1,21	0	2,34	0	0	1,81	0,01	0,03

На рис. 3 наведено результати дослідження частоти вживання трифонів на основі фонем [о]. Згідно отриманих результатів, частота вживання трифону [кор] в українській мові становить 2,21 %.

Одночасно з цим необхідно враховувати близькі за методом творення фонем, за рахунок деструктивного впливу шумової завади чи засобів фільтрації та/або обробки фонограми, можуть змінювати формантні частоти.

При цьому з 1444 трифонів, які створені на основі голосної фонем [о], використовуються тільки 117 – їх частота використання не нульова.

Таким чином, перевага коефіцієнту RII над SII полягає в переході від фонем до алофонів, які мають більш стійку до сторонніх впливів форму обвідної, та враховують частото-часовий розподіл інформації в формантах. Розподіл, в загальному випадку, залежить від особливостей мовотворення як окремого диктора так і мови даного регіону (держави). Це дозволяє, навіть при критичних значеннях сигнал/завада ($SNR \leq -15$ дБ), в значній мірі відновлювати мовну інформацію.

Аналіз (10) показує, що коефіцієнт RII є усередненням залишкової розбірливості мови для даного тест-сигналу при конкретних умовах зашумлення. Це

дозволяє нівелювати вплив окремих значних відхилень розбірливості по словам, при врахуванні довготривалих змін.

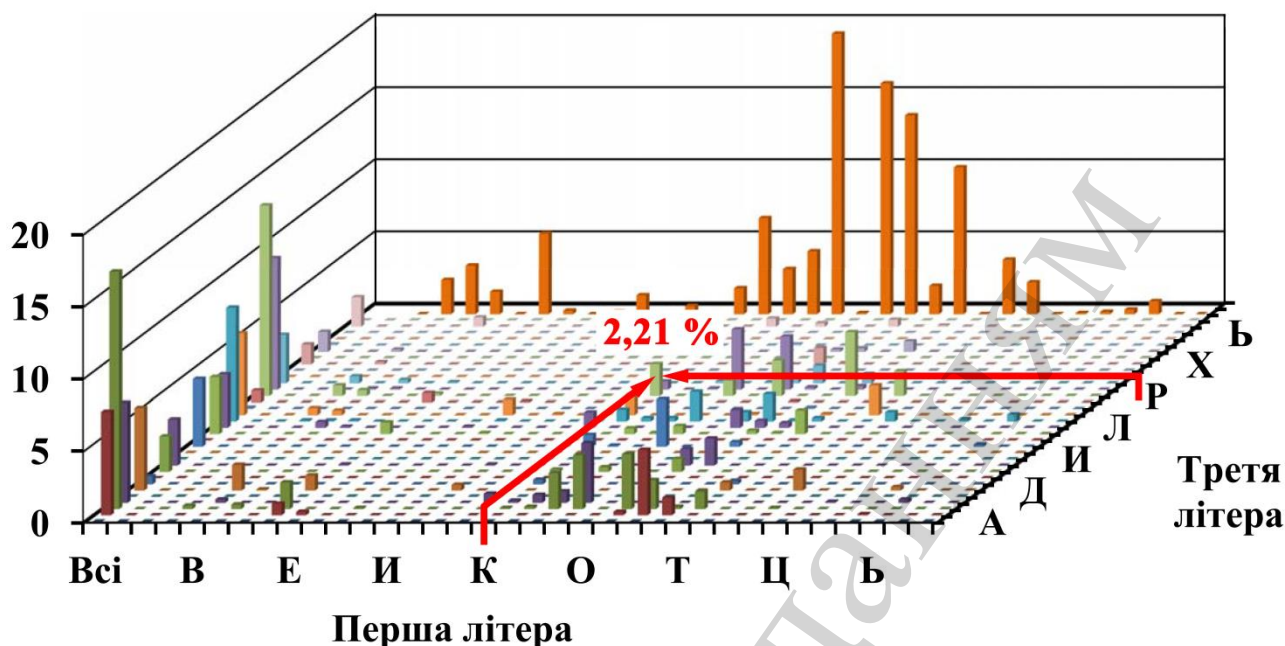


Рис. 3. Усереднені значення частоти вживання трифонів в українській мові на основі фонемі [o]

Технологія визначення коефіцієнту RII передбачає розроблення спеціалізованої бази алофонів, яка може враховувати не тільки характеристики певної мови, а й діалектні особливості мови дикторів регіону та вплив інших мов. Така база буде значно більшою від бази, що розробляється під другий, розглянутий вище, метод. Однак її перевагою буде універсальність (незалежність від певної артикуляційної таблиці) та можливість більш чіткого розпізнавання дифонів, африкат, свистячих і шиплячих приголосних та інших.

6. Аналіз частоти вживання дифонів та трифонів (лінгвістичні моделі алофонів) в українській мові

Об'єктивне оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони повинно базуватись на вірогідності розпізнавання зловмисником в перехопленому сигналі мовної інформації з достовірністю, достатньою для відновлення певного об'єму інформації. Враховуючи, що за мовну одиницю в (10) прийнято алофон, то шкалу оцінювання логічно прив'язувати до усередненого рівня розпізнавання алофонів, а відповідно і слів – використання здвоєної шкали ординат. За умови наявності в експерта (чи в системі підтримки прийняття рішення) оригіналів тест-сигналів, за якими можна встановити відповідність певної групи алофонів до конкретного слова, такий підхід є коректним. Аргументом залежності є порядковий номер алофону в слові тест-сигналі.

Для зашумленого та очищеного від шуму сигналів на рис. 1 тільки ділянка частоти основного тону ($Fp0$) дає високі показники коефіцієнтів вагомості інформації та якості розпізнавання інформації в смузі. На інших ділянках значення коефіцієнту якості розпізнавання буде мінімальним, що призводить до отримання хибної оцінки захищеності інформації.

Врахування лінгвістичної складової шляхом проведення кореляційного аналізу слів, для їх розбиття на алофони, в поєднанні з кореляційним аналізом частотного спектру дозволяє розпізнати форманти ($Fp1$, $Fp2$, $Fp3$ та $Fp4$). А отже, суттєво понизити оцінку рівня захищеності мовної інформації.

Результати досліджень (табл. 2, рис. 2, 3) дають змогу визначити значення коефіцієнту частоти вживання даного алофону в мові (H) та коефіцієнту важливості розпізнавання алофону для розпізнавання слава (R^a) в залежності (10).

Згідно з проведеними дослідженнями (табл. 2, рис. 2, 3), максимальне значення частоти вживання фонем, дифонів та трифонів не перевищує 10 % (0,1 у. о.). Таким чином, для коефіцієнту частоти вживання алофону (H) в слові тест-сигналу можна ввести залежність

$$H = \begin{cases} 0.1, & h \leq 0.01 \\ 10h, & 0.01 < h \leq 0.1; \\ \frac{1}{2}(10h + 1), & 0.1 < h \leq 0.5; \\ 2(h + 1), & 0.5 < h \leq 2; \\ \frac{1}{2}(h + 10), & h > 2, \end{cases}, \quad (11)$$

де h – частота вживання трифону (у.о.).

Залежність (11) апроксимується виразом

$$H = 1.85 \cdot 10^{-4} \cdot h^5 - 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot h^4 + 0.121 \cdot h^3 - 1.03 \cdot h^2 + 4.4 \cdot h + 0.1. \quad (12)$$

Залежності (11) і (12) призначені як для ручного розрахунку, так і для використання в системах підтримки прийняття рішення для автоматизованих систем оцінювання рівня захищеності мовної інформації.

7. Аналіз якості розпізнавання частоти основного тону та формант на якість оцінювання рівня захищеності мовної інформації

Якості розпізнавання інформації в смугах частотного спектру фонем (слова) суттєво залежить від рівня деструктивного впливу шумової завади та викривлення частотного спектру в наслідок використання цифрових методів обробки (рис. 1). Найбільш простим засобом визначення якості розпізнавання є використання спектрально-кореляційного методу.

Однак при значних рівнях деструктивного впливу (при $SNR \leq -10$ дБА) його використання є неефективним. Вирішенням проблеми є використання алофонів

та їх основних складових – частоти основного тону ($Fp0$) і формант ($Fp1$, $Fp2$, $Fp3$ та $Fp4$). В такому випадку фактично необхідно оцінювати якість розпізнавання обвідних та їх взаємне розміщення на частотному спектрі. При значних впливах, які призводять до неможливості коректно визначити обвідну (рис. 1), використання коефіцієнтів кореляції є некоректним.

Для оцінки якості розпізнавання основного тону та формант пропонується використання коефіцієнту важливості розпізнавання алофону для розпізнавання слава R^a , виходячи з (10) та рис. 1, визначається як:

– для зашумленого (*Signal & Noises*) сигналу $\{R^a\}^N$:

$$\{R^a\}^N = \frac{1}{k} \sum_{j=0}^k \left[S_j \cdot (F_j - L_{n_j}) \right]; \quad (13)$$

– для очищеного (*Residual Intelligibility*) сигналу $\{R^a\}^R$:

$$\{R^a\}^R = \frac{1}{k} \sum_{j=0}^k \left[S_j \cdot (F_j - L_{R_j}) \right], \quad (14)$$

де k – кількість формант в алофоні (зазвичай $k=3 \dots 4$, визначається для алофону по тест-сигналу (рис. 1)); S_j – коефіцієнт вагомості форманти в розпізнаванні алофону; F_j – середнє значення рівня сигналу форманти алофона в тест-сигналі (F_0 – середнє значення рівня сигналу основного тону алофона в тест-сигналі); L_{n_j} – середнє значення рівня завади на ділянці форманти; L_{R_j} – середнє значення рівня залишкової завади та завади, яку зумовлена викривленнями спектру при математичній обробці (фільтрації, вейвлет-перетвореннях та інше).

8. Шкала об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації

Враховуючи (10)–(14), пропонується введення шкали об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови. При формуванні шкали враховані положення, які використані в [4] (табл. 1) та корелюються з вимогами [1–3].

При розробці шкали враховується, що при в середньому темпі розмови середньостатистичний диктор вимовляє 100–120 слів/хв. При врахуванні, що в середньому слова складається з 2–4 алофонів, отримуємо 200–480 алофонів/хв.

За таких вихідних умов, на основі табл. 1, можна встановити шкалу об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови (табл. 3).

В табл. 3 передбачено рівномірний закон розподілення розпізнаних слів за встановлений термін.

Таблиця 3

Шкала об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови

Рівень	Опис рівня захисту мови	Частота розпізнавання		
		1 коротка фраза	3 слова ¹	10 алофонів ²
Standard speech privacy	Зрідка зрозуміла і часто чутна	за 2 хв.		
Standard speech security	Інколи зрозуміла і зрідка чутна	за 15 – 60 хв.		
High speech security	За суттю не зрозуміла і іноді чутна	за 2 – 4,5 год		
Very high speech security	Нерозбірлива й по суті не чутна	за 16 – 20 год		

Примітка: ¹ – за умови рівномірного закону розподілу за часом; ² – за умови рівномірного розподілу за часом групами по 2–3 алофони, які дозволяють з певною достовірністю відновити повністю або частково окремі слова тест-сигналу

При оцінці ступеню захищеності мовної інформації за частотою розпізнавання алофонів передбачається їх рівномірний розподіл групами по 2–3 алофони, які дозволяють з певною достовірністю відновити окремі слова тест-сигналу.

В табл. 3 встановлені вимоги не тільки до методів оцінювання рівня захищеності мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами, а й вводиться розподіл приміщень з урахуванням категорій інформації.

9. Обговорення результатів дослідження удосконаленого методу оцінювання ступеня захисту мовної інформації

Запропоновані математичні залежності (10) – (14) створюють теоретичне підґрунтя методу визначення рівня захищеності мовної інформації на основі коефіцієнту залишкової розбірливості мови (R_{II}). Впровадження методу дозволить:

- вдосконалити діючі в Україні методики та технології оцінки захищеності мовної інформації;
- враховує сучасний стан методів цифрової обробки фонограм
- забезпечить підвищення достовірності оцінки рівня її захищеності.

Одночасно з цим, запропоновано вдосконалена шкала об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови (табл. 3), яка дозволяє:

- перейти від дворівневої оцінки рівня захищеності мовної інформації, яка діє в Україні, до чотирьохрівневої, що дозволить будувати систему захисту в залежності від категорії об'єкту та оптимізувати матеріальні витрати;
- встановити вимоги до рівнів сигналів в системах постановки активних акустичних та вібраційних завад в відповідності до категорії об'єкту,

– зниження рівнів сигналів генераторів акустичних та вібраційних завод для рівнів «Standard speech privacy» (ДСК) та «Standard speech security» (таємно) дозволяє суттєво покращити умови праці робітників.

Отже, отримані результати дозволяють вказати на досягнення поставленої мети. Додатково можна вказати на те, що:

1) Проведений аналіз існуючих методів оцінки рівня захищеності інформації показав наявність трьох домінуючих методів – *SNR* (Україна та держави на пострадянському просторі), *SII* (США та Європейські країни) та *SPC* (Канада). Однак кожен з вказаних методів має свої особливості, що фактично не дозволяють прозоро порівнювати результати їх застосування. Запропоновано використання критерію словесна розбірливість мови (*W*), введеного в [12, 22], як допоміжного ланки. Головним критерієм порівняння стали вимоги до рівня захищеності мовної інформації та можливості перехоплення її частин зловмисником за певний період. Це дозволило формалізувати підходи до оцінювання рівня захищеності мовної інформації за різними методами та уніфікувати вимоги до систем захисту мовної інформації (табл. 1).

2) Використання комплексних методів, які поєднують суб'єктивні (словесна розбірливість мови) та об'єктивні (інструментальне дослідження частотного спектру) методи оцінювання рівня захищеності мовної інформації є найбільш перспективними методами. Такі методи отримали назву об'єктизовані методи оцінювання. З них найбільшого поширення отримав американський метод, оснований на визначенні коефіцієнту розбірливості мови (*SII*). Однак аналіз його використання показав обмеженість сфери застосування – не враховуються можливості сучасних методів цифрової обробки фонограм, таких як вейвлет-перетворення, адаптивна фільтрація, спектральний і кореляційний аналізи та інші.

На рис. 1, б показано вплив шумової завади із співвідношенням $SNR = -10$ дБА на тест-сигнал та спотворення спектру, після процедури фільтрації. Як видно з рис. 1 та (9), при використанні коефіцієнту *SII* буде отримана досить оптимістична оцінка рівня захищеності. Аналіз зашумленого сигналу (Signal & Noises) показує, що тільки на ділянці спектру до 300 Гц (ділянка основного тону) значення коефіцієнту якості розпізнавання інформації в смузі (*A*) буде відрізнятися від 0. Згідно з (9):

$$\begin{aligned} & \text{– для ділянки } 50 \dots 300 \text{ Гц отримуємо } A(\Delta L)_i = \frac{\Delta L_i}{30} = \frac{L'_s - L_n(\text{avg})}{30} = \frac{5}{30}; \\ & \text{– для ділянок } 300 \dots 5600 \text{ Гц маємо } A(\Delta L)_i = 0. \end{aligned}$$

$$\text{Таким чином, згідно (8), отримуємо } S = \sum_{i=1}^5 I_i A_i = 0,03 \cdot \frac{5}{30} = 0,005, \text{ де}$$

$I = 0,03$ – коефіцієнт вагомості інформації в смузі визначаємо згідно з [12]. Таке значення відповідає рівню «High speech security».

Однак, після фільтрації (сигнал «Residual Intelligibility») з використанням вейвлет-перетворення отримуємо

$$S = \sum_{i=1}^5 I_i A_i = 0,03 \cdot \frac{5}{30} + 0,12 \cdot \frac{3}{30} + 0,2 \cdot \frac{1}{30} + 0,3 \cdot \frac{1}{30} + 0,26 \cdot \frac{2}{30} = 0,042.$$

Тобто коефіцієнт збільшився на порядок і відповідає рівню «*Standard speech privacy*».

Запропоновано шляхи вирішення вказаної проблеми – врахування лінгвістичної складової мовної інформації та стійкості алофонів до шумових завад та викривлень спектру. Запропоновано введення коефіцієнту залишкової розбірливості мови – *RII (Residual intelligibility index)* та методика його розрахунку (10).

3) Запропоновано використання дифонів та трифонів, як спрощеної лінгвістичної моделі алофонів, та проведено аналіз частоти їх вживання (рис. 2, 3, табл. 2). Аналіз проводився для спеціалізованих текстів за напрямками «Захист інформації», «Фінанси» та «Криміналістика». Було проаналізовано тексти, загальним об'ємом більше 20 Мб текстового формату [32]. Результати аналізу порівнювались з результатами інших авторів [28–30]. При загальному збігу результатів, були виявлені деякі розбіжності, що можна віднести до особливостей текстів професійного спрямування.

Запропоновано розподіл трифонів в залежності від частоти вживання на 4 групи та виведено залежності для розрахунку коефіцієнту частоти вживання алофону (11) та (12) як складової до (10).

4) Проведено аналіз якості розпізнавання частоти основного тону ($Fp0$) та формант ($Fp1$, $Fp2$, $Fp3$ та $Fp4$) на якість оцінювання рівня захищеності мовної інформації. Запропоновано залежності для розрахунку коефіцієнтів важливості розпізнавання алофонів для розпізнавання слів для зашумленого (13) та очищеного (14) сигналів.

5) Запропоновано шкалу об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови (табл. 3) Врахуванні вимог до рівня захищеності мовної інформації та можливості перехоплення її частин зловмисником за певний період.

Таким чином, результати теоретичних та прикладних досліджень дозволяють стверджувати про можливість використання запропонованого методу оцінювання рівня захищеності мовної інформації з обмеженим доступом на об'єктах інформаційної діяльності України. Метод враховує структуру та принципи роботи сучасних систем захисту мовної інформації і дозволяє інтегруватись в діючу методичку атестації виділених приміщень. Врахування можливостей сучасних методів цифрової обробки фонограм (вейвлет-перетворення, спектрально-кореляційний аналіз, адаптивна фільтрація та інші) в сукупності з використанням артикуляційних таблиць забезпечує достовірність оцінки рівня захищеності мовної інформації.

10. Висновки

1. Виконано огляд методів оцінювання рівня захищеності мовної інформації, які використовуються в Україні, ЄС, США та Канади, та проведено їх порівняльний аналіз. Це дозволило формалізувати підходи до оцінювання рівня

захищеності мовної інформації за різними методами та уніфікувати вимоги до систем захисту мовної інформації. Головним критерієм порівняння стали вимоги до рівня захищеності мовної інформації та можливості перехоплення її частин зломисником за певний період.

2. Обґрунтовано необхідність удосконалення методики визначення рівня захищеності мовної інформації на основі коефіцієнту (індексу) розбірливості мови шляхом врахування особливостей алофонів та введення коефіцієнту залишкової розбірливості мови. Такий підхід дозволяє підвищити достовірність оцінки ступеню захищеності мовної інформації при цифровій обробці фонограм – фільтрація шуму на основі вейвлет-перетворень, спектрального та кореляційного аналізу, застосування адаптивної фільтрації та інше.

3. Запропоновано використання дифонів та трифонів, як спрощеної лінгвістичної моделі алофонів. Це дозволило формалізувати структуру алофонів та провести аналіз частоти їх вживання в українській мові. Виконано розподіл трифонів в залежності від частоти вживання на 4 групи та запропоновано аналітичні залежності для розрахунку коефіцієнту частоти вживання трифонів (алофонів) для задач технічного захисту інформації.

4. Проведено аналіз деструктивного впливу шумової завади та викривлень спектрального складу, які виникають при використанні методів цифрової обробки фонограм, на якості розпізнавання частотного спектру основного тону та формант. Оцінено їх вплив на рівень захищеності мовної інформації та запропоновано аналітичні залежності для коефіцієнту важливості розпізнавання алофонів для розпізнавання слів (фраз, речень) для зашумлених та очищених сигналів.

5. Запропоновано шкалу об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критеріями залишкової розбірливості мови та можливості перехоплення її частин зломисником за певний період. Її використання дає змогу підвищити якість оцінювання рівня захищеності мовної інформації від виток акустичними та вібраційними каналами, в тому числі й з урахуванням категорій інформації.

Література

1. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.4-010-2015.
2. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.3-019-2015.
3. Нормативний документ системи технічного захисту інформації НД ТЗІ 2.2-008-2015.
4. ASTM E2638-10. ASTM Intl., West Conshohocken, PA.
5. ANSI/ASA S3.37-1987 (R2017) American National Standard Preferred Earhook Nozzle Thread for Postauricular Hearing Aids. STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1987.01.01.
6. ANSI/ASA S3.5-1997 (R2017) American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index. STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1997.01.01.

7. ISO 9921:2003. Ergonomics – Assessment of speech communication (2003). International Organization for Standardization, 28. URL: <https://www.iso.org/standard/33589.html>
8. IEC 60268-16:2011. Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/1214>
9. ISO 7240-24:2010. Fire detection and fire alarm systems – Part 24: Sound-system loudspeakers (2010). International Organization for Standardization, 39.
10. UNE EN 60268-16:2011. Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index (Endorsed by AENOR in November of 2011).
11. ISO 3382 (2012). Acoustics – Measurement of room acoustics parameters – Part 3: Open plan offices.
12. Григорьев, И. А., Казановский, А. И. (2010). Методический подход к оценке эффективности защиты речевой информации. Вестник Воронежского государственного технического университета, 5, 133–136.
13. Нужний, С. М. (2018). Удосконалена технологія оцінки ступеня захисту мовної інформації. Сучасний захист інформації, 1 (33), 66–73. URL: <http://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/1796>
14. Blintsov, V., Nuzhniy, S., Parkhuts, L., Kasianov, Y. (2018). The objectified procedure and a technology for assessing the state of complex noise speech information protection. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (9 (95)), 26–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144146>
15. Hornsby, B. W. Y. (2004). The Speech Intelligibility Index. The Hearing Journal, 57 (10), 10–17. doi: <https://doi.org/10.1097/00025572-200410000-00003>
16. Allen, J. B. (2005). Consonant recognition and the articulation index. The Journal of the Acoustical Society of America, 117 (4), 2212–2223. doi: <https://doi.org/10.1121/1.1856231>
17. Phatak, S. A., Lovitt, A., Allen, J. B. (2008). Consonant confusions in white noise. The Journal of the Acoustical Society of America, 124 (2), 1220–1233. doi: <https://doi.org/10.1121/1.2913251>
18. Lee, P. J., Jeon, J. Y. (2011). Evaluation of speech transmission in open public spaces affected by combined noises. The Journal of the Acoustical Society of America, 130 (1), 219–227. doi: <https://doi.org/10.1121/1.3598455>
19. Graetzer, S., Hopkins, C. (2018). Evaluation of STOI for speech at low signal-to-noise ratios after enhancement with Ideal Binary Masks. Conference: 25th International Congress on Sound and Vibration.
20. Bradley, J. S., Gover, B. N. (2010). A new system of speech privacy criteria in terms of Speech Privacy Class (SPC) values. Proceedings of 20th International Congress on Acoustics. Sydney. URL: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=cf69d165-7fb1-46c9-b60f-e6c8020b0c11>
21. Bradley, J., Gover, B. (2008). Speech privacy class for rating the speech privacy of meeting rooms. Canadian Acoustics, 36 (3), 22–23. URL: <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/2018>

22. Хорев, А. А. (2009). Оценка возможностей средств акустической (речевой) разведки. Специальная техника, 4, 49–63.
23. Рыбальский, О. В., Соловьев, В. И., Журавель, В. В. (2017). Фрактальный подход к выявлению следов цифровой обработки в аналоговых фонограммах. Сучасна спеціальна техніка, 1, 4–9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssst_2017_1_4
24. Соловьев, В. И., Рыбальский, О. В., Железняк, В. К. (2014). Мультифрактальная структура шепота и распознавание речевых структур. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки, 12, 16–20. URL: <http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/11215>
25. Вакуленко, М. О. (2010). Акустичні інваріанти українських приголосних. Науковий вісник кафедри ЮНЕСКО Київського національного лінгвістичного університету. Філологія, педагогіка, психологія, 20, 4–16. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkyu_2010_20_3
26. Добрушкін, Г. О., Данилов, В. Я. (2010). Основні підходи до розпізнавання мовленнєвої інформації (Частина 1). Вісник Вінницького політехнічного інституту, 4, 50–64. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1746>
27. Архипова, О. О., Журавльов, В. М., Кумейко, В. М. (2009). Артикуляційні таблиці слів української мови. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, 2 (19). 13–17. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/9689>
28. Архипова, О. О., Журавльов, В. М. (2009). Частотний аналіз використання букв української мови. Радіоелектроніка. Інформатика. Управління, 2, 53–56. URL: http://ric.zntu.edu.ua/issue/viewIssue/1582/pdf_11
29. Сушко, С. О., Фомичова, Л. Я., Барсуков, Є. С. (2010). Частоти повторюваності букв і біграм у відкритих текстах українською мовою. Захист інформації, 12 (3 (48)). doi: <https://doi.org/10.18372/2410-7840.12.1968>
30. Бабенко, Т. В., Сушко, С. О. (2012). Про ентропію української мови. Захист інформації, 14 (3 (56)), 104–107. doi: <https://doi.org/10.18372/2410-7840.14.3397>
31. Кульчицький, І. М., Шандрук, У. С. (2015). Вплив орфографії на частоту букв у текстах. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі, 814, 300–309. URL: http://nbuv.gov.ua/ujrn/vnulpicm_2015_814_30
32. Нужний, С. М., Заноскіна, П. В. (2018). Загальні підходи до формування артикуляційних таблиць української мови для оцінки стану захисту складно-зашумленої мовної інформації. Сучасна спеціальна техніка, 4 (55), 66–75. URL: http://suchasnaspets tehnika.com/journal/ukr/2018_4.pdf